

METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN ENERGÉTICO-PRODUCTIVA EN LOS EDIFICIOS DE LARED DE SALUD. ANALISIS DE LOS DISTINTOS NIVELES DE INTEGRACIÓN

Irene Martini, Carlos Discoli, Elias Rosenfeld*

Resumen *La red de salud de la República Argentina cuenta con establecimientos de distinta complejidad. Para modular y conocer su comportamiento energético, se plantea el desarrollo de una metodología de análisis detallado, abordando diferentes niveles de integración con el objeto de conformar una biblioteca dinámica de Módulos Edilicios Energéticos-Productivos (MEEP). Esto implica evaluar las interacciones entre los espacios físicos, la envolvente, la infraestructura, el uso y el equipamiento. La información obtenida se sintetiza en fichas tipológicas para cada sector característico, estableciendo patrones y singularidades para cada servicio, conformando una biblioteca de MEEP. La biblioteca como estructura soporte nos permite identificar las variables energéticas críticas, detectar áreas de sobreconsumo y/o de insuficiencia de infraestructura y aportar información integral de referencia para el diseño de establecimientos de salud.*

Abstract *The health network in Argentine has different complexity buildings. To modulate and to know their energy behaviour, a development of a detailed analysis methodology is exposed, grouping different integration levels to conform a typological chart of Energy-Productive Building Modules (MEEP). This means to evaluate the interactions among physical spaces, building envelope, infrastructure, use and equipment. The obtained information is summarized in typological charts for each sector, obtaining patterns and specifications for each service, conforming in this way a MEEP library. The library allows us to identify critical energy variables, detect over consuming areas and/or inadequate infrastructure, and obtain integral reference information for the design of the health buildings.*

1.INTRODUCCIÓN

La red edilicia de salud pública de la República Argentina, está conformada por una amplia diversidad de establecimientos jerarquizados según su nivel de complejidad (alta, media y baja) y su área de incumbencia (regional, zonal y subzonal). En general su infraestructura de uso continuo y equipamiento se caracterizan por ser energo-intensivos. Cuenta con unos 3.200 establecimientos públicos asistenciales y una disponibilidad cercana a 75.000 camas. En forma paralela y en algunos casos complementarios existe un importante número de instituciones privadas, en su mayoría autónomas que agrupan a 1.500 establecimientos con alrededor de 67.000 camas. En el ámbito de la provincia de Buenos Aires, la más importante de la Argentina, se presenta una situación singular, dado que existe un mercado de salud de alta complejidad concentrado en el área metropolitana del Gran La Plata y disperso en el resto de la extensa provincia. La totalidad de los establecimientos se distribuye entre un 25 a 30% en el ámbito estatal y entre un 75 y 70% en la gestión privada¹.

Esta red de servicios, de alta connotación social, presenta diversas deficiencias energéticas-productivas, entre las que podemos mencionar: baja habitabilidad higrotérmica, irracionalidad edilicia y uso poco eficiente

de los recursos energéticos. Este conjunto de problemáticas agravan sensiblemente la calidad del servicio. Por otro lado, en la década del 90, la reestructuración del Estado llevó a la privatización y descentralización de los servicios públicos básicos, entre ellos las empresas proveedoras de energía. En consecuencia, los establecimientos de salud, debieron restringir sus gastos energéticos debido a las posibles interrupciones del suministro.²

Simultáneamente, las administraciones deficientes, la inadecuada gestión y/o regulación de servicios y la inequidad distributiva de los recursos condujeron al país a una crisis socio-económica profunda, llegando a niveles de desocupación cercanos al 22%. Este proceso agrava la situación de las diferentes estructuras prestadoras de salud (servicios privados, seguros médicos, prepagas, obras sociales, etc.) con el consecuente traspaso de usuarios del sistema privado al público. Dicha transferencia impactó sobre el sistema público de salud, colapsando la oferta disponible. Este incremento de usuarios no previsto, generó una recarga sobre el sistema público, desequilibrando los insumos críticos, entre ellos los energéticos y sus partidas presupuestarias. Situación que se sumó a lo planteado anteriormente, debiendo

reducir drásticamente el consumo energético condicionando la calidad del servicio³. Por otro lado, el progreso tecnológico de esta última década impuso una medicina de alto contenido técnico-energético, ampliando en algunos casos, la brecha entre los recursos y las necesidades.

2. METODOLOGÍA. ANÁLISIS DE LOS NIVELES DE INTEGRACIÓN

La metodología desarrollada plantea actuar en la red de salud a través del análisis de sus establecimientos (nodos) como unidades prototípicas. Para cada nodo se estudia detalladamente el comportamiento energético y ambiental de sus partes (Módulos Edilicios Energéticos Productivos).

Esta red presenta una gran diversidad tipológica, tanto en complejidad sanitaria como en diversidad morfológica asociada a sus cortes históricos. Es por ello que se plantea el diagnóstico energético a partir de una clasificación tipológica a nivel diferencial. Esto implica un análisis detallado de cada nodo de la red, a partir de un estudio exhaustivo de los diferenciales constitutivos de cada sector productivo (servicio), analizando principalmente las variables energéticas. Estos diferenciales se materializan en la determinación de módulos edilicios-energéticos-productivos (MEEP), que caracterizan las necesidades teóricas de las principales actividades sanitarias de la red. La determinación de los MEEP permite comprender su dinámica, inserción y peso relativo en el conjunto en cuanto a la interacción entre el espacio físico, la envolvente edilicia, la infraestructura, el equipamiento, el uso, el consumo y sus emisiones.

Se plantea la construcción de un catálogo tipológico que module los servicios sanitarios representativos de los establecimientos hospitalarios de diferente complejidad y la conformación de una biblioteca dinámica de Módulos Edilicios Energéticos Productivos (MEEP). Esto nos permite clasificar, dimensionar, comparar y diseñar sectores sanitarios de diferentes establecimientos a través de unidades tipológicas representativas que tipifiquen las necesidades edilicias, energéticas y productivas de cada unidad de servicio de salud (laboratorio, cirugía, terapia intensiva, etc.).

La construcción de cada MEEP incluye el cálculo de los flujos de energía entre:

Consumo de iluminación: para el cálculo se desagrega la iluminación general del módulo y la iluminación localizada en los planos de trabajo;

Consumo del equipamiento: se considera el consumo energético nominal de cada uno de los equipos, la cantidad y el tiempo de uso;

Consumo de climatización: para determinar las necesidades de climatización se consideran los aportes y las pérdidas de energía en un balance energético estacionario. Las variables consideradas son: ocupación, iluminación, equipamiento, ganancia directa por ventana

(GAD), renovaciones de aire y características de la envolvente. Las necesidades energéticas surgen de dicho balance.

La biblioteca de MEEP es confrontada con el parque edilicio real a los efectos de ajustar la metodología y los resultados. Cada MEEP se sintetiza en una ficha tipológica, que resume la información referente a: i. identificación del MEEP y área de pertenencia; ii. plano de planta; iii. características generales: localización, dimensiones, características de la envolvente, temperatura interior y media exterior, orientación; iv. características del sistema de iluminación y valores de cálculo del consumo de energía; v. Características del equipamiento y valores de cálculo de su consumo; vi. valores de cálculo de consumo para climatización, desagregado en aportes y pérdidas por ocupación, ganancia directa por ventanas, iluminación, equipamiento, renovaciones de aire, y envolvente; y vii. **im|liadospaurklesy totaTradelM EEP. (Figurai)**

La construcción de la biblioteca dinámica implicó la modelización y análisis de cuatro instancias de cada MEEP siendo las mismas complementarias. Se trata de los MEEP Teóricos, MEEP Reales, MEEP Optimizados y MEEP Ambientales.

1. La elaboración de un catálogo de MEEP Teóricos, que expresan las necesidades mínimas de espacio físico, envolvente, infraestructura, equipamiento, uso y consumo de energía. Esto permite en principio, diagnosticar los pesos energéticos teóricos y sus emisiones de contaminantes; establecer los posibles yacimientos de ahorro de energía; minimizar la contaminación; facilitar el diseño de nuevas ampliaciones o establecimientos; unificar criterios en la disponibilidad de equipamientos y suministros; formalizar calidades Standard en las envolventes; y promover las disponibilidades de los espacios físicos de manera sistémica y con equidad económica.

2 La formulación de los MEEP Reales surge a partir de la verificación de los MEEP Teóricos con los servicios existentes de la red edilicia. Nos permite por un lado, verificar el grado de distorsión entre los MEEP Teóricos, con respecto a la realidad de la red sanitaria. Por otro lado, posibilita la detección de distorsiones ya sea por exceso o defecto, permitiendo el redimensionamiento de las variables consideradas.

3. La obtención de los MEEP Optimizados. El estudio profundizado de las instancias anteriores genera información básica para proponer mejoramientos energéticos edilicios-productivos para cada diferencial de salud. Estos representan las necesidades óptimas para cada prestación sanitaria de un determinado establecimiento hospitalario.

4. Para el cálculo de los MEEP Ambientales, se consideran las emisiones de contaminantes en función de los flujos energéticos intervinientes en cada módulo. Se analizan los aportes y las pérdidas de energía, y luego se evalúan sus respectivas emisiones. Los valores obtenidos son específicos para cada Módulo y para cada

Denominación: LABORATORIO (hasta 10.000 pac.)	TEORICO	MEEP DT1a
Area: Diagnóstico y tratamiento	Fecha: 09/95	

GRAFICA	REFERENCIAS	DATOS GENERALES
	1- Mesada 2- Luz general 3- Asiento altura.regulable 4- Microscopio 5- Balanza analítica 6- Estufa esterilización cultivo 7- Centrífuga 8- Heladera 9- Pileta de embudo 10- Pileta resistente al ácido 11 - Estantería 12- Reloj con timbre 13- Pico de gas 14- Pico de aspiración 15- Ventana 1m x2m 16- Silla giratoria 17- Iluminación campo trabajo	Sist.Constr.: tradicional Orientación: E-O Superficie: 15,75 m ² Sup.opaca ext.: 10,60 m ² Sup.transp.ext.: 2 m ² Altura: 3,50 m T°Int.: 25° GD: 994 T°Media ext.: 17,5°

ILUMINACION				EQUIPAMIENTO			
General (fluorescente)	500 lux	12 hs		Estufa de esterilización	1000 w	10 hs	
Localizada (incandescente)	800 lux	8 hs	2 m²	Estufa de cultivo	1000 w	24 hs	
				Baño termostático para 90 tubos	1000 w	5 hs	
				Heladera	50 w	24 hs	
				Microdilluctor	1150 W	4 hs	
				Vortex	110 w	2 hs	
				Centrífugas de mesa	200 W	5 hs	
				Analizador de PH	20 W	5 hs	
				Fotómetro de llama	200 W	3 hs	
				Cámara de extracción	370 W	4 hs	
				Espectrofólmometro UV	50 W	5 hs	
				Anafe	5250 W	4 hs	
				Otros equipamientos varios			
TOTAL Kwh/día.m²				TOTAL Kwh/día.m²			
0,49				4,549			

CLIMATIZACION					
Ocupación	GAD	Renovación	Envolvente	Iluminac	TOTAL
Cant.: 4 pers. Hs.: 12 F.Ocup.: 0,6	Ventana expuesta V.Simple	Cant.: 8 vol./h Dens.Aire: 1,3 Kg/m ³ Entalpia:0,99KJ/Kg°C	Ksup.op:2,21 kw/m ² C Ksup.tra^Bkw/m ² C	0,082	Kwh/día.m ²
0,183	0,123	1,441	0,321	Equip.	3,174
				4,549	

	Teórico		Emision de Contaminantes Kq/m ² año					
	Kwh/día.m ²	TEP/año.m ²	Part.	S02	NOx	HC	CO	C02
Iluminación	0,149	0,019	0,007	0,190	0,051	0,004	0,014	57,95
Equipamiento	4,549	0,572	0,217	5,720	1,544	0,109	0,440	1744,0
Climatización	3,174	0,099	0,019	-	0,178	0,038	0,048	270,27
MEEPA	7,872	0,690	0,243	5,910	1,773	0,151	0,502	2072,2

Figura 1 : Ficha Tipológica. *Elaboración propia*

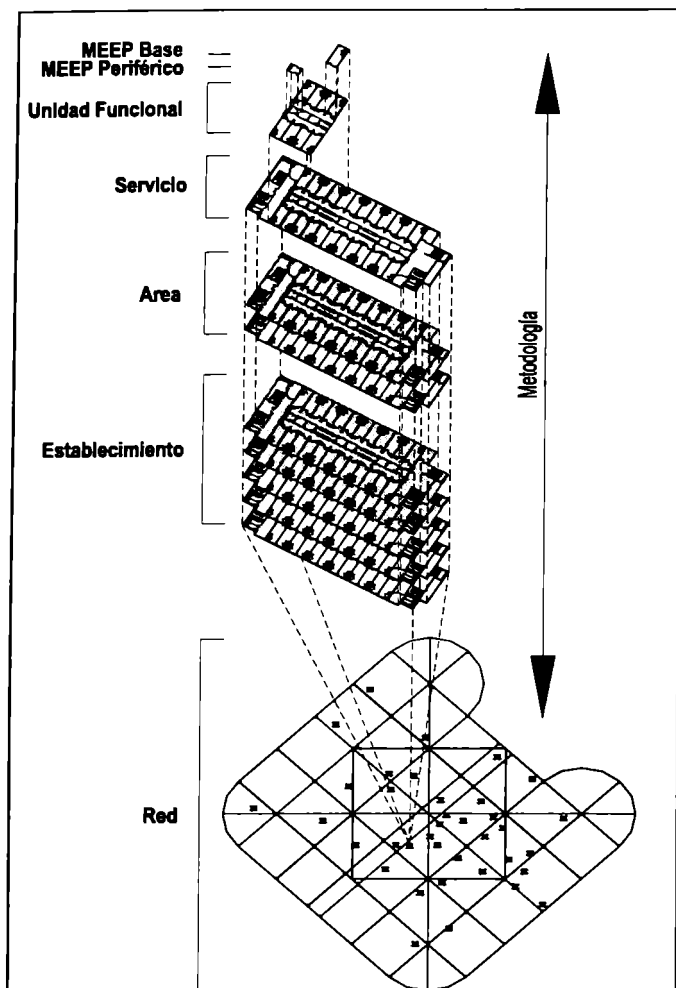
contaminante.

A partir de la sistematización de la Biblioteca dinámica de los MEEP, con el objeto de ajustar el funcionamiento de los módulos, se planteó la necesidad de precisar los niveles de integración para facilitar el análisis de los distintos servicios dentro de la complejidad de un hospital. La Figura 2 muestra como ejemplo los niveles de integración en un hospital de agudos de la red de salud Pública de la Argentina .

En consecuencia, la red sanitaria de salud pública de la Argentina cuenta con nodos (hospitales) que abastecen diferentes sectores urbanos con diferentes complejidades. Cada establecimiento (hospital) está compuesto por un conjunto de Áreas. Estas áreas

agrupan a un conjunto de Servicios de Prestación, integrado por Unidades Funcionales. Las Unidades Funcionales integran a los MEEP base y a los MEEP periféricos. Nos referimos a los MEEP base al representado por el diferencial de prestación y MEEP periférico a los que están en interrelación directa con los MEEP base que no alcanzan la categoría de diferencial de prestación aunque intervienen en el proceso y, en algunos casos, tienen un peso energético significativo.

Si tomamos el MEEP “habitación de 2 camas” como ejemplo, la “Unidad Funcional de internación” está representada por una determinada cantidad de MEEP base de habitaciones y de MEEP periféricos, o sea, todas aquellas tareas complementarias que hacen a su

Fig.2 : Niveles de integración. *Elaboración propia*

funcionamiento (unidad de enfermería, abastecimiento periférico de material limpio y usado, oficina para médicos, etc.). El conjunto de las Unidades Funcionales es el "Servicio de Internación Clínica", que forma parte del "Área Internación" conjuntamente con Cuidados Intensivos, Terapia Intermedia, etc. Esta área, junto con otras como Diagnóstico y Tratamiento, Atención Ambulatoria, Cirugía, etc., forman el conjunto del establecimiento.

3. LOS MÓDULOS EDILICIOS ENERGÉTICOS PRODUCTIVOS (MEEP) DE LA RED DE SALUD.

3.1. MEEP Teóricos: desarrollo y cálculo de las necesidades energéticas

Los MEEP Teóricos representan a la totalidad de los servicios prototípicos de salud, para las diferentes complejidades del sistema sanitario. La bibliografía hospitalaria básica reseña fundamentalmente los criterios arquitectónico-funcionales, la distribución, el equipamiento y la conectividad adecuada con otras áreas de servicio.⁴

Este trabajo profundiza en el análisis ordenando y sistematizando la información e incorpora la calidad de la envolvente, la habitabilidad y los tiempos de uso típicos.

Esto permite calcular las necesidades energéticas y su participación en el consumo total. En las fichas se referencian las superficies y espacios básicos y típicos, las necesidades de diseño, las orientaciones, la iluminación, la ventilación, la temperatura, la humedad relativa, las características constructivas, las instalaciones especiales, el tipo y cantidad de equipamiento, las relaciones con otras áreas de servicio y flujos de entrada y salida. Esta información se complementó con relevamientos in situ, con entrevistas a informantes calificados y fuentes bibliográficas específicas^{5,6} en particular las relacionadas con el equipamiento energético.

Las necesidades energéticas de los MEEP Teóricos se calculan considerando el consumo en iluminación artificial; el consumo del equipamiento y el consumo de climatización.

3.1.1. Consumo energético en iluminación artificial.

Se desagrega en la iluminación general y en la iluminación localizada sobre los planos de trabajo. La expresión para el cálculo se sintetiza en la Eq. (1).

$$C_{iluminación} = E \cdot A \cdot \left(\frac{1}{\eta} \right) \cdot \tau \cdot \left(\frac{1}{A} \right) \cdot \frac{Kwh}{\text{día} \cdot m^2} \quad (1)$$

El valor mínimo del nivel lumínico (E), está determinado por norma y existen tablas según tipos y necesidades de uso en la bibliografía específica⁷. En el caso de la iluminación localizada, la iluminancia se calcula en función de la superficie y del nivel lumínico (E) mínimo necesario sobre el plano de trabajo. Las horas de uso (r) se calculan en función del tiempo de uso diario de los equipos de iluminación. Se incluye la inversa de la superficie del local (A) y del rendimiento lumínico (η) para obtener un valor energético específico por metro cuadrado de módulo.

Para el cálculo de iluminación general se utilizaron lámparas fluorescentes con un flujo luminoso de 3.200 lm, un rendimiento lumínico (η) de 80 lm/W y un rendimiento calórico (η_c) de 0,2. Para la iluminación localizada se consideraron lámparas incandescentes y una superficie de plano de trabajo (A) de 2 m².

3.1.2. Consumo energético del equipamiento

Se calcula el consumo para cada equipo del módulo (exceptuando iluminación) a partir de la Eq. (2).

$$C_{equipamiento} = \sum_{e=1}^n (n_e \cdot P \cdot \tau) \cdot \frac{1}{A} \cdot \frac{Kwh}{\text{día} \cdot m^2} \quad (2)$$

El consumo energético promedio (P) es uno de los datos más difíciles de obtener ya que los usuarios (profesionales, técnicos y auxiliares del sector) generalmente lo desconocen y no existen registros

completos. La información se debe relevar equipo por equipo ya sea en los establecimientos o en casas de proveedores. Para establecer un promedio de horas diarias de uso se consultó con los usuarios.

3.1.3. Consumo energético de climatización (C)

Para determinar las necesidades de climatización se consideran los aportes y las pérdidas de energía en un balance energético simplificado. Las variables consideradas son: ocupación (C_{oc}), iluminación artificial (C_{il}), equipamiento (C_{eq}), ganancia directa por ventanas (GJ); renovaciones de aire (C) y ganancias y/o pérdidas por envolvente (CJ). Las necesidades energéticas se representan en la Eq. (3).

$$C_{climatización} = C_{oc} + C_{il} + C_{eq} + G_{an} + C_{ren} + C_{env} \frac{Kwh}{día \cdot m^2} \quad (3)$$

La sumatoria de las demandas energéticas de cada variable representa las demandas de climatización de cada MEEP (corresponde a la cantidad de energía que deberá entregar el sistema de climatización, ya sea en forma de calor o frío). El cálculo de cada término de energía en climatizaciones es:

i. Aportes de calor por ocupación:

La Eq. (4) considera el calor aportado por las personas que ocupan el módulo.

$$C_{ocupación} = AP \cdot \tau \cdot n_p \cdot \frac{1}{A} \cdot FO \frac{Kwh}{día \cdot m^2} \quad (4)$$

Se estableció para el aporte por personas (AP) un valor constante de 100 W. El factor de ocupación (FO) depende del tipo de uso del servicio analizado. Este puede asumir, por ejemplo, un valor de 1 en los módulos de internación (día completo de ocupación) o de 0,3 para los consultorios (un turno de ocho horas).

ii. Aportes de calor por iluminación:

Al valor calculado en 3.1.1. iluminación artificial general y localizada, se lo multiplica por el rendimiento calórico (n_c) de las lámparas consideradas resultando la Eq. (5).

$$C_{iluminación} = C_{ilg} \cdot \eta_c + C_{illoc} \cdot \eta_c \frac{Kwh}{día \cdot m^2} \quad (5)$$

iii. Aportes de calor del equipamiento:

Se considera la disipación térmica de los equipos cuyo consumo se calculó en 3.1.2.

rv. Aportes de calor por ganancia directa a través de ventanas (GAD)

Este valor está en correspondencia directa con la zona climática, la orientación, el tipo de aventanamiento del módulo, el tipo de protección (sin protección, cortinas de enrollar, postigos, etc.), y el grado de apertura de la misma. Los valores de ganancia solar directa se extrajeron de⁸ valores establecidos para nuestra zona climática (templada-húmeda). La Eq. (6) sintetiza las variables:

$$C_{GAD} = GAD \cdot At \cdot \frac{1}{A} \frac{Kwh}{día \cdot m^2} \quad (6)$$

v. Pérdidas de calor por renovaciones de aire.

Las renovaciones de aire presentan una variación significativa en función de cada prestación sanitaria. La cantidad de renovaciones horarias [n] varían según el servicio analizado. La Tabla 1 sintetiza algunos valores.

Consideramos un valor constante de densidad del aire (ρ_a) de 1,3 Kg/m³ y una entalpía del aire (Ja) de 0,99 Kj/Kg°C que corresponde al área de estudio. La entalpía del aire y los Grados día/día (GDD), varían según la zona climática. Para el área de estudio (Gran La Plata) se consideran GDD=6°C.

$$C_{renovaciones} = A \cdot h \cdot n \cdot \rho_a \cdot Ja \cdot GDD \cdot \frac{1}{A} \frac{Kwh}{día \cdot m^2} \quad (7)$$

RENOVACIONES HORARIAS	
Sala de internación/habitaciones	5 a 7
Emergencia	
Hemoterapia	5 a 8
Centro Obstétrico	15
Laboratorio	8 a 10
Radiología	
Aulas Comunes	7
Anatomía Patológica	8
Internación Infecciosos	
Terapia Intensiva	12
Centro Quirúrgico	10 a 20
Oficinas Administración	5
Consultorios	
Cocinas/Offices	

Tabla 1: Tabla de Renovaciones Horarias. *Elaboración propia*

vi. Pérdidas de calor por envolvente:

Las pérdidas energéticas por envolvente dependen fundamentalmente de las características del sistema constructivo y del grado de exposición que tenga el local con respecto al exterior. La Eq. (8) calcula las pérdidas para todos los tipos de materiales que conformen la envolvente (transparentes y opacos). Algunos datos de transmitancias térmicas (K) se pueden ver en la Tabla 2.

$$C_{envolvente} = (K_o \cdot A_o + K_t \cdot A_t) \cdot \frac{1}{A} \cdot \tau \cdot GDD \cdot FE \frac{Kwh}{día \cdot m^2} \quad (8)$$

MUROS: valores de K (W/m ² °C)	
Ladrillos comunes, esp. 0.15, rev.	2,67
Ladrillos comunes, esp. 0.20, rev.	2,21
Ladrillos comunes, esp. 0.30, rev.	1,88
Bloques de hormigón, esp. 0.15, rev.	1,98
Ladrillos huecos, esp. 0.15, rev.	1,98
Ladrillos huecos, esp. 0.21, rev.	1,84
Idem esp. 0.24, (doble muro c/c.aire)	1,45
Idem esp. 0.21, (autoportante)	1,42
TECHOS: valores de K (W/m ¹⁰ C)	
Tejas, entablado visto, s/aislamiento.	2,58
Tejas, entablado visto, 1" aislamiento.	1,05
Tejas, entabl. Cielorr. Susp., s/aislac.	0,92
Tejas, entabl. Cielorr. Susp., 1" aislac.	0,61
Chapa asbesto cemento, s/c.aire.	4,84
Idem c/cielorraso suspendido.	1,06
Chapa metálica, entabl. Visto, 1" aislac.	0,99
Idem, entabl. Cielorraso susp., s/aislac.	0,92
Idem, entabl. Cielorraso susp., 1" aisl.	0,61
Losa H°A°, contrap., cielorraso aplic., term.	
balosas o aluminio.	3,82
Losa cerámica, idem anterior.	1,62
CARPINTERÍAS: valores de K (W/m ¹⁰ C)	
Vent. Vidrio simple, paño completo	5,82
Idem c/protec.(post., cort.enrr., etc)	2,79
Puerta madera maciza o tablero	2,61

Tabla 2: Valores de Transmitancias térmicas. *Elaboración propia.*
Fuente: Norma IRAM 11601

En cuanto al sistema constructivo, se adoptó el tradicional macizo con pared de 20cm de espesor y altura promedio de locales de 3,5 m. Se consideró además un factor de exposición FE1 (un muro expuesto, localizado en un piso intermedio).

Por tratarse de una biblioteca dinámica, cualquier modificación en las consideraciones es posible, recalculando diferentes escenarios.

Concluida la primera instancia de los MEEP Teóricos (Fichas + sistematización de biblioteca dinámica), se realizaron relevamientos en los distintos establecimientos de la red de salud. Cada módulo fue comparado in situ, debiendo ajustar las diferencias entre el estudio teórico y el de campo. Se detectó una dispersión morfológica-tipológica importante, la que permitió ajustar los existentes e incorporar variaciones tipológicas para cada módulo. Esta etapa permitió el desarrollo de los MEEP Reales.

3.2. Los MEEP reales: desarrollo y cálculo

Los MEEP Reales se desarrollan a partir de la necesidad de contrastar los estudios teóricos con los datos relevados en cada establecimiento del sector. La metodología de cálculo desarrollada para los MEEP teóricos se adaptó y ajustó a la diversidad de casos de la

red sanitaria. Los MEEP reales permitieron corregir las dispersiones en cada una de las variables consideradas, ajustando así, la base de información.

La principal diferencia metodológica radicó en el cálculo del consumo en iluminación artificial. En los MEEP Reales se detectó que el consumo de los equipos existentes, en general no tienen en cuenta las necesidades teóricas mínimas de iluminación. En consecuencia, las ecuaciones utilizadas en el cálculo real, consideran las características de las instalaciones eléctricas de iluminación, sin verificar el cumplimiento de las demandas teóricas. En cuanto al aporte térmico del sistema lumínico, se corresponde con la energía calculada en situación real.

La Eq. (9), calcula la demanda energética en el MEEP Real.

$$C_{iluminación} = \sum_{e=1}^n (n_e \cdot P \cdot \tau) \cdot \frac{1}{A} \quad \frac{Kwh}{día \cdot m^2} \quad (9)$$

Con respecto al resto de las variables, no se identificaron diferencias significativas, no afectando la eficiencia del área en cuestión. En consecuencia, las necesidades energéticas para equipamiento y climatización se calculan con las mismas expresiones que en los MEEP Teóricos.

El desarrollo metodológico y la formulación de un cuerpo de fichas que conforman una biblioteca dinámica, para las dos primeras instancias, MEEP Teóricos y Reales, representan la mayor y completa base de información técnico-productiva del sistema de salud Argentino. El esfuerzo de integrar el conjunto de variables edilicias, energéticas y productivas, y confrontar los escenarios Teóricos con los Reales, permitió establecer desde el análisis detallado el estado del arte de cada componente del sistema. Los desequilibrios detectados permitieron identificar excesos, defectos, eficacias y establecer optimizaciones futuras. En consecuencia la tercera instancia responde a la necesidad de formular óptimos.

3.3. Los MEEP optimizados: consideraciones para su construcción

La formulación de los MEEP Optimizados, pretende mejorar o mantener los niveles de calidad con el menor uso posible de los recursos y en este caso en particular los energéticos. En todos los casos la optimización consiste en identificar y redimensionar las variables estructurales (confort higrotérmico y lumínico) y establecer estrategias de retrofitting estableciendo posibles potenciales de ahorro.

La optimización de cada diferencial de prestación se determinó a partir de: i. la evaluación del comportamiento lumínico natural (ubicación, tamaño de las aberturas y artefactos), minimizando los requerimientos por fuentes

artificiales y ii. la reducción de pérdidas térmicas originadas por los distintos tipos de paramentos, (superficie, transmitancia térmica, características climáticas de la localidad). En cuanto al equipamiento sanitario, la sustitución como estrategia forma parte del cambio tecnológico previsto en las diferentes áreas de salud, cuya realización depende de las políticas sanitarias establecidas.

3.3.1. Evaluación del comportamiento lumínico natural y artificial

Para la evaluación del comportamiento lumínico se utilizó el programa de simulación denominado RAFIS (Rough Analysis For Illuminating Spaces)⁹. Este sistema permite calcular los porcentajes de iluminación natural que se introducen en los módulos teniendo en cuenta la orientación y el aventanamiento.

La entrada de datos es simplificada, adoptando un modelo de cielo cubierto¹⁰. La elección de simular con cielo cubierto se debe a que se lo estudia en su condición más desfavorable. El programa cuenta con salidas numéricas y gráficas representando los valores de “Factor de Iluminación Natural” en un plano teórico situado a una determinada altura del suelo¹¹.

Estos resultados permiten ser contrastados con los obtenidos del relevamiento in situ de cada módulo y así proponer alternativas de diseño para su optimización. La evaluación se realiza para cada sector del módulo considerando los distintos locales que lo conforman.

Teniendo en cuenta que para la ciudad de La Plata (34° Latitud Sur) durante el mes de junio se considera un aportelumínico exterior de 4000 lux a las 8 hs y a las 16 hs; de 45000 lux a las 10 hs y a las 14 hs y de 55000 lux a las 12 hs¹², los valores de iluminación natural aportados en los distintos sectores del módulo de acuerdo a los porcentajes establecidos por el programa RAFIS, son los representados en la Tabla 3.

Lab.	4000 (lux) 8hs y 16hs	45000 (lux) 10hs y 14hs	55000 (lux) 12hs
3%	120	1350	1650
7%	280	3150	3850
17%	680	7650	9350
42%	1680	18900	23100

Tabla 3: Valores de iluminación natural según el programa RAFIS. *Elaboración propia*

Las Tablas 4 y 5 muestran la iluminación artificial necesaria en relación a los porcentajes de iluminación natural y a los valores de iluminación general y localizada necesaria para cada módulo (MEEP Teórico). Los valores positivos corresponden a la cantidad de lux de iluminación artificial necesarios para cada sector. La demanda en iluminación artificial general y localizada se calcula por las Eqs. (10) y (11).

$$I_{\text{gral.}} = E - E_{\%} \quad \text{lux} \quad (10)$$

$$I_{\text{loc.}} = E - E_{\%} \quad \text{lux} \quad (11)$$

Con la demanda lumínica artificial (Tablas 4 y 5), podemos calcular la energía necesaria en $\left[\frac{\text{Kwh}}{\text{día} \cdot \text{m}^2} \right]$ a partir de las Eqs. (12) y (13).

$$I_{\text{gral}} = E \cdot \frac{1}{\eta} \cdot \frac{\text{Kwh}}{\text{día} \cdot \text{m}^2} \quad (12)$$

$$I_{\text{loc}} = E \cdot \frac{1}{\eta} \cdot \frac{\text{Kwh}}{\text{día} \cdot \text{m}^2} \quad (13)$$

3.3.2. Evaluación de las pérdidas energéticas por envolvente.

Las pérdidas energéticas por envolvente dependen de la calidad térmica y constructiva de sus componentes. Para su evaluación y los posibles ahorros energéticos se plantearon alternativas constructivas que mejoran la calidad térmica y se simularon con software específico (EvalK)¹³.

Se evalúa según la Norma IRAM 11.605 (Instituto Argentino de Racionalización de Materiales). El software cuenta con más de 100 casos de sistemas constructivos usuales para las zonas bioambientales del país.

Se consideró un muro tradicional de ladrillo común, un FE (factor de exposición) de 1 y un coeficiente K (transmitancia térmica) de 2,67 W/m²°C. Para la situación mejorada, se propuso una mejora de la aislación térmica en los muros incorporando aislación térmica, 1” poliestireno expandido de 20Kg/m³ y terminación interior reduciendo el coeficiente K (transmitancia térmica) a 0,51 W/m²°C y el consumo energético total en un 40%. La Tabla 6 muestra los resultados con las diferentes alternativas constructivas.

3.4. Los MEEPA (ambientales): Metodología para la evaluación de las emisiones de contaminantes aéreos

Desarrolladas las instancias de MEEP Teóricos, Reales y Optimizados, se analizaron por último las emisiones aéreas asociadas al consumo de energía. Con el peso energético de los distintos módulos se cuantificó el nivel de emisiones de contaminantes para cada fuente utilizada. La integración de los resultados nos permitió dimensionar la participación de estos establecimientos energo-intensivos en el conjunto urbano.

Entre los contaminantes emitidos consideramos: material particulado (Part.), dióxido de azufre (SO₂), óxidos de nitrógeno (Nox), hidrocarburos (Hidroc),

ILUMINACION GENERAL			
Lab.	4000 (lux) 8hs y 16hs	45000 (lux) 10hs y 14hs	55000 (lux) 12hs
3%	Nivel Lum. Gral - 120	Nivel Lum. Gral - 1350	Nivel Lum. Gral - 1650
7%	Nivel Lum. Gral - 280	Nivel Lum. Gral - 3150	Nivel Lum. Gral - 3850
17%	Nivel Lum. Gral - 680	Nivel Lum. Gral - 7650	Nivel Lum. Gral - 9350
42%	Nivel Lum. Gral - 1680	Nivel Lum. Gral - 18900	Nivel Lum. Gral - 23100

Tabla 4. Valores de iluminación artificial necesaria para iluminación general, según los porcentajes establecidos por el programa RAFIS.

ILUMINACION LOCALIZADA			
Lab.	4000 (lux) 8hs y 16hs	45000 (lux) 10hs y 14hs	55000 (lux) 12hs
3%	Nivel Lum. Loc - 120	Nivel Lum. Loc - 1350	Nivel Lum. Loc - 1650
7%	Nivel Lum. Loc - 280	Nivel Lum. Loc - 3150	Nivel Lum. Loc - 3850
17%	Nivel Lum. Loc - 680	Nivel Lum. Loc - 7650	Nivel Lum. Loc - 9350
42%	Nivel Lum. Loc - 1680	Nivel Lum. Loc - 18900	Nivel Lum. Loc - 23100

Tabla 5. Valores de iluminación artificial necesaria para iluminación localizada, según los porcentajes establecidos por el programa RAFIS.

	SITUACION ORIGINAL			SITUACION MEJORADA		
	(K)	Kwh/día	TOTAL (cant.hab)	(K)	Kwh/día	TOTAL (cant.hab)
MURO	2,67	3,735	3,735x48= 179,28	0,51	2,364	2,364x48= 113,47

Tabla 6. Características tecnológicas de cálculo.

monóxido de carbono (CO) y dióxido de carbono (CO₂) según el combustible Utilizado (fuel-oil, diesel-oil, gas natural y gas envasado).

La construcción de los Módulos Edilicios Energéticos Productivos Ambientales (MEEPA), permite dimensionar detalladamente la participación energética y el efecto ambiental de cada sector del establecimiento de la red y consecuentemente, del total del sistema sanitario. La determinación detallada de las emisiones de contaminantes permite proponer alternativas de diseño para mejorar donde corresponda las condiciones ambientales (reducción de contaminantes) y de habitabilidad, (confort higrotérmico y lumínico).

3.4.1. Cálculo de las demandas energéticas anuales

Las demandas anuales de energía se calculan a partir de los consumos diarios en iluminación, equipamiento y climatización de cada MEEP y de la disponibilidad de días al año de cada servicio sanitario. Las Eqs. (14), (15) y (16) calculan para cada variable (iluminación, equipamiento y climatización) la energía demandada en TEP (Toneladas Equivalentes de Petróleo) por año y por m² de área destinada a cada servicio:

$$C_{total\ iluminacion} = \frac{C_{ilum}}{11600} \cdot n_d \cdot 4 \quad (14)$$

$$C_{totalequipamiento} = \frac{C_{equip}}{11600} \cdot n_d \cdot 4 \quad (15)$$

$$C_{total\ climatización} = \frac{C_{c\ lim}}{11600} \cdot n_d \quad (16)$$

En el caso de iluminación y equipamiento electromecánico, consideramos la energía primaria necesaria para cubrir esa demanda, afectando al resultado con un factor de 4 correspondiente a un rendimiento global del sistema eléctrico del 25% (en el caso de generadores con centrales térmicas). Para climatización se aplica según el vector energético utilizado.

3.4.2. Cálculo de las emisiones de contaminantes

Con la demanda energética anual de cada variable (iluminación, equipamiento y climatización) y el total de cada MEEP, se calculan las emisiones aéreas de cada contaminante. La Tabla 7 muestra las emisiones en Kg/TEP de energía para los sectores residencial, comercial y público, según el combustible utilizado. Los resultados de las emisiones aéreas de contaminantes se muestran en la Tabla 8 en Kg/año • m². Se discrimina por tipo de contaminante y para cada tipo de demanda: iluminación, (combustible considerado: fuel-oil); equipamiento (combustible considerado: fuel-oil) y climatización (combustible considerado: gas natural).

COEFICIENTES DE EMISION DE CONTAMINANTES EN Kg/TEP PARA EL SECTOR RESIDENCIAL-COMERCIAL-PUBLICO						
	PARTIC	S02	NOx	HIDROC	co	C02
LEÑA	29		0.19	0.96	308	7650
GAS NATURAL	0.19	0.005	1.8	0.38	0.38	2120
FUEL OIL	0.38	10	2.7	0.19	0.77	3050
GAS LICUADO	0.19		1.8	0.38	0.49	2730
INTERMEDIOS	0.38	10	2.7	0.19	0.8	3130
CARBON DE LEÑA	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	4500

Tabla 7. Coeficientes de emisiones de contaminantes en Kg/TEP para el sector residencial, comercial y público. Fuente: “Biomass energy and environment” H.M. Braunstei et al, “Emission controls in electricity generation and industry”, I.E.A.J. Moragues et al.

Los resultados se incorporaron en las fichas de cada MEEPA, completando así el conjunto de dimensiones involucradas en este análisis. La metodología planteada y el desarrollo de los Módulos Edilicios Energéticos Productivos en sus instancias Teórico, Real, Optimizados y Ambientales permitió completar la Biblioteca dinámica de un sector muy complejo como es el de salud.

4. CONCLUSIONES

Las necesidades actuales de energía no sólo dependen del crecimiento económico total, sino también de actitudes y hábitos sociales, a su vez dependientes de distintas zonas geográficas y actividades y de las exigencias que impone la satisfacción de las necesidades

COEFICIENTES DE EMISIONES DE CONTAMINANTES en Kg/TEP			
	FUEL OIL		GAS NATURAL
	Distribución	Equipamiento	Climatización
PARTIC.	$Partic_{ilum} = C_{ilum} \cdot C_{clim} \cdot 0.38$	$equip_{ilum} = C_{ilum} \cdot C_{clim} \cdot 0.38$	$C_{clim} \cdot 0.19$
SG2	$SO_2_{ilum} = C_{ilum} \cdot C_{clim} \cdot 10$	$SO_2_{ilum} = C_{ilum} \cdot C_{clim} \cdot 10$	$C_{clim} \cdot 0.005$
Nox	$NOx_{ilum} = C_{ilum} \cdot C_{clim} \cdot 2.7$	$NOx_{ilum} = C_{ilum} \cdot C_{clim} \cdot 2.7$	$C_{clim} \cdot 1.8$
HIDROC	$HIDRO_{ilum} = C_{ilum} \cdot C_{clim} \cdot 0.19$	$HIDRO_{ilum} = C_{ilum} \cdot C_{clim} \cdot 0.19$	$C_{clim} \cdot 0.96$
CO	$CO_{ilum} = C_{ilum} \cdot C_{clim} \cdot 0.77$	$CO_{ilum} = C_{ilum} \cdot C_{clim} \cdot 0.77$	$CO_{ilum} = C_{ilum} \cdot C_{clim} \cdot 0.49$
CQ2	$CO_2_{ilum} = C_{ilum} \cdot C_{clim} \cdot 3050$	$CO_2_{ilum} = C_{ilum} \cdot C_{clim} \cdot 3050$	$CO_2_{ilum} = C_{ilum} \cdot C_{clim} \cdot 2120$

Tabla 8. Coeficientes de emisión de contaminantes

de la población. Así la producción de energía y sus emisiones han adquirido en este último siglo un papel fundamental. El consumo indiscriminado de energía es hoy responsable del 47 % de las emisiones de CO₂ que permanecen en la atmósfera, y constituye el factor más importante del Calentamiento Global.

Teniendo en cuenta la problemática planteada, es que se desarrolló esta metodología para el cálculo de MEEP y sus distintos niveles de integración. Se apuntó a la obtención de diagnósticos consistentes, a la identificación y optimización de las variables intervinientes, a la reducción del consumo energético, y a minimizar los impactos ambientales ocasionados por las estructuras energético-intensivas que conforman el sector salud.

El conocimiento diferencial de cada servicio de salud, desde el punto de vista energético-ambiental en relación a lo edilicio y a lo productivo, permitió identificar los

posibles ahorros de cada una de las áreas específicas de los establecimientos, con la consecuente reducción de emisiones.

La metodología desarrollada, además de producir un diagnóstico detallado permite comparar la situación original actual de cada MEEP con las progresivas mejoras que se propongan. Para tal fin se aplican pautas de mejoramiento a los MEEP reales con el objeto de: i. optimizar las condiciones de habitabilidad (confort higrotérmico y lumínico); ii. Calcular las nuevas necesidades energéticas y iii. cuantificar las emisiones por contaminantes y por tipo de combustible.

El desarrollo de los MEEP Teóricos y Reales nos permitió ajustar la interacción entre variables y cuantificar el nivel de diferencias entre los valores normalizados y los relevados.

Esta metodología permitió comparar escenarios entre sectores productivos homólogos y establecimientos

equivalentes dentro de una red de un sector urbano, conociendo el peso energético de cada módulo en el establecimiento y con su integración, el de cada establecimiento dentro de la red, detectando áreas urbanas con concentración de consumo, de insuficiencia de infraestructura, etc. Conocer la dinámica del conjunto de nodos de una red nos permite formular, en este caso, un diagnóstico de la demanda energética del sector salud dentro de la globalidad de las redes edilicias del sector terciario del consumo de energía.

La metodología de análisis y los resultados obtenidos representan los primeros módulos edilicios energéticos productivos que relacionan e integran las variables energéticas, edilicias y productivas de la red de salud. La formulación de una biblioteca dinámica, permite actualizar resultados en forma permanente y continua, establecer estándares de diseño, comparar y resolver dispersiones entre situaciones homologas o equivalentes.

REFERENCIAS

1. DISCOLI, C. *El diagnóstico de la gestión productiva-energético-ambiental de las redes territoriales del sector salud*. Tesis de Maestría. Maestría en Ambiente y Patología Ambiental. Universidad Nacional de La Plata y Escuela de los Altos Estudios de Siena. 1998
2. Op. Cit. Nota N°1.
3. Op. Cit. Nota N°11
4. Los datos de criterios arquitectónico-funcionales, de distribución, equipamiento y la conectividad adecuada con otras áreas de servicio se obtuvieron de las fichas técnicas para el recurso físico de la salud, espacio, equipamiento e instalaciones según tecnología. CIRFS, UBA, Buenos Aires, 1993 de Bodegam de Debuchy, A; Sandoval, A.M.; de las Guías para el desarrollo del recurso físico en salud, OPS/OMS, Washington, USA, 1993; del interés de la OMS en el desarrollo de guías para el planeamiento de los recursos físicos en salud, OMS, 1993; de las guías de diseño hospitalario para América Latina, OPS/OMS y de la racionalización de la planificación y construcción de instalaciones de asistencia médica en los países en desarrollo. Lovaina, Bélgica.
5. YAÑEZ, E. *Hospitales de seguridad social*. 8ª. Edición. Limusa, Noriega Ed., México, 1986.
6. Elements of the general hospital. Architectural Record. Julio 1946.
7. MASCARÓ L.R. "Luminotecnia. Luz natural." Colección Manuales, Vol.N°1. Ed. SUMMA, Bs As, 1977.
8. GUERRERO, J.; ROSENFELD, E. et al. *Conservación de energías. Estudio del consumo energético en viviendas de la zona templada húmeda. Resolución SeDUV 116/82*.
9. SERRA, R.; LLADSER, J.; PARERA, H.; COCH, X. "RAFIS. Rough Analysis For Illuminating Spaces". UPC, ETSAB, Barcelona, 1992.
10. SAN JUAN, G et. al. en "Desarrollo metodológico para la evaluación del comportamiento lumínico de la red tipológica de edificios de educación de la Provincia de Buenos Aires" definen al cielo cubierto como aquel caracterizado por una luminancia cenital máxima que disminuye con el ángulo de altura.
11. SAN JUAN, G; BOGATTO, M.; TOIGO, A.; ROSENFELD, E. "Desarrollo metodológico para la evaluación del

comportamiento lumínico de la red tipológica de edificios de educación de la Provincia de Buenos Aires". Actas de la 19ª reunión de ASADES, Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente, 1996.

12. Instituto Argentino de Racionalización de Materiales. Asociación Argentina de Luminotecnia. Iluminación natural en edificios. Condiciones generales y requisitos especiales.

13. CZAJKOWSKI, J. (1999) "Desarrollo del programa AuditCAD para el análisis de edificios a partir de auditorías ambientales." En Avances en energías renovables y medio ambiente. ISSN 0329-5184. Pág. 08-5 a 8. Vol 3. Nro 2.

NOMENCLATURA

A = Superficie [m²]
 At = Superficie Transparente [m²]
 Ao = Superficie Opaca [m²]
 r/ = Rendimiento Lumínico [lm/W]
 r = Tiempo [hs/día]
 E = Nivel lumínico [lux]
 E_% = Nivel lumínico [lux] según los porcentajes establecidos por el programa RAFIS en relación a la iluminación natural ext.
 n_c = Numero de equipamientos
 n = Numero de personas
 n_d = Numero de días
 P = Potencia eléctrica [kW]
 GP = Ganancia por persona [W]
 FO = Factor de Ocupación
 h_c = Rendimiento calórico
 h = Altura del local [m]
 n = Renovaciones de aire [vol/h]
 P° = Densidad del aire [Kg/m³]
 = Entalpia del aire [Kj/Kg°C]
 °D = Grados Días [°C]
 Ko = Transmitancia térmica de la sup. opaca [W/m²°C]
 Kt = Transmitancia térmica de la sup. transparente [W/m²°C]
 FE = Factor de exposición
 TEP = Toneladas Equivalentes de Petróleo. [1 TEP=11600 kWh]
 K. = Transmitancia térmica [W/m²°C]
 GAD = Ganancia Directa a través de ventanas